

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
**Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**Loading device for material testing and fault detection**

Patent Number: DE19721845  
Publication date: 1998-12-03  
Inventor(s): MAECKEL PETER (DE)  
Applicant(s):: MAECKEL PETER (DE)  
Requested Patent: ☐ DE19721845  
Application Number: DE19971021845 19970526  
Priority Number(s): DE19971021845 19970526  
IPC Classification: G01N3/08 ; G01B9/02 ; G01N3/02 ; G01M5/00 ; G01M13/00  
EC Classification: G01N3/08, G01N3/06E  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

The device applies loading, which may be tension, pressure, bending or torsion, to the surface of a component. The modulus and direction of the loading are dynamically and statically adjustable, and the loading is transferred to the component through areas joined by hot melt adhesive, wax, magnets, fasteners or vacuum. Forces and moments can be applied in any desired direction. Faults, component structures and material structures can be made visible or can be detected from the inhomogeneities they produce compared to the intrinsic deformation or the corresponding deformation gradient, using a measuring method such as shearography (ESPSI).

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

# Offenlegungsschrift DE 197 21 845 A 1

21 Aktenzeichen: 197 21 845.8  
22 Anmeldetag: 26. 5. 97  
43 Offenlegungstag: 3. 12. 98

AL 99.011  
51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 N 3/08**  
G 01 B 9/02  
G 01 N 3/02  
G 01 M 5/00  
G 01 M 13/00

DE 197 21 845 A 1

71 Anmelder:  
Mäckel, Peter, 34125 Kassel, DE

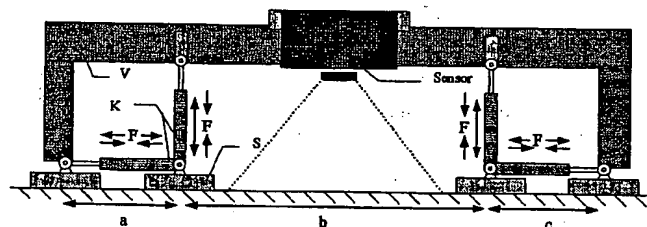
72 Erfinder:  
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Belastungsvorrichtung zur Materialprüfung

57 Optische Meß- und Prüfverfahren zur berührungslosen und zerstörungsfreien Detektion von Fehlern gewinnen die Meßinformationen aus dem Oberflächenverhalten des Prüfobjekts, wobei anhand von Unregelmäßigkeiten Rückschlüsse auf Fehler des Materials oder der Struktur gezogen werden. Für interferometrische Verfahren ist die Überlagerung zweier Belastungszustände notwendig, die ggf. durch spezielle Belastungsvorrichtungen erzeugt werden müssen.

Mit dem vorliegenden Verfahren können beliebige Belastungen wie Zug, Druck und Biegung auf den Prüfbereich aufgebracht werden. Die Kräfte werden über lösbare Verbindungen eingeleitet wie durch Flächen, die sich durch Unterdruck an das Bauteil ansaugen. Die aufgebrachten Prüfkraften bilden vorzugsweise ein geschlossenes Kräftesystem mit dem Prüfobjekt, so daß die Belastungsvorrichtung unabhängig von der Umgebung und damit flexibel einsetzbar ist. Wird der Meßkopf in die Vorrichtung integriert, besteht eine feste Verbindung des Meßkopfes mit dem Prüfobjekt. Es entsteht eine kompakte Prüfeinheit.



DE 197 21 845 A 1

Ein wichtiges Kriterium für die Anwendung von CAQ-Verfahren ist die Zuverlässigkeit der Fehlererkennung. Interferometrische Meß- und Prüfverfahren zur berührungslosen und zerstörungsfeien Detektion von Materialfehlern und Überprüfung Werkstoffstrukturen gehören dabei zu den Verfahren mit höchster Auflösung und Empfindlichkeit. Sie gewinnen die Meßinformationen aus den Oberflächeneigenschaften und -verhalten des Prüfobjekts. Aus diesen Informationen können anhand von Unregelmäßigkeiten Rückschlüsse auf Fehler des Materials oder der Struktur gezogen werden.

Für interferometrische Verfahren ist die Überlagerung zweier Belastungszustände notwendig. Bei Bauteilen wie Behältern, Tanks etc. bietet es sich an, die Belastungsänderung der Hülle durch Variation des Innendruckes hervorzurufen. Der Vorteil dieser Belastungsart gegenüber Wärme ist, daß eine weitgehend homogene und gut regelbare Belastung aufgebracht werden kann, die es ermöglicht, nicht nur Fehlerstellen sondern auch wie Verklebungen sichtbar und überprüfbar zu machen. Bei nicht geschlossenen Bauteilen oder bei Bauteilen, bei denen eine solche Belastung zu Schäden führen kann, muß zusätzlich eine spezielle Vorrichtung herangezogen werden.

Die prinzipiell einfachste Belastung stellt die Wärmebelastung der zu prüfenden Oberfläche dar. Der Nachteil bei der Anwendung von Wärme ist die Inhomogenität sowie die schlechte Regelbarkeit, so daß die Meßbereichsregelung des Prüfverfahrens an die Belastung d. h. an den zeitlichen Temperaturgradienten der Prüffläche angepaßt werden muß.

Das Patent US 005257088A ermöglicht mittels einer Saugglocke Materialien wie z. B. die Außenwand von Flugzeugrümpfen zu belasten, um so in Verbindung mit einem Prüfverfahren wie der Shearografie anhand von inhomogenen Verformungen bzw. Verformungsänderung der Oberfläche Materialfehler zu detektieren. Dabei wölben sich das Material durch den erzeugten Unterdruck in die Saugglocke hinein und erzeugen so eine in erster Linie eine Biegebeanspruchung in der zu prüfenden Oberfläche. Die Spannung nimmt dabei mit dem Abstand zur neutralen Faser zu. Fehler, die jedoch nahe der neutralen Faser liegen, haben so nur eine geringe Auswirkung auf das Biegeverhalten (Fig. 2). Fehler wie Lufteinschlüsse, können so unerkannt bleiben. Dieses Problem und weitere Nachteil des Belastungsverfahrens nach US 00527088A sind unter den folgenden Punkten a) bis f) zusammenfassend dargestellt und sind Grundlage für die folgenden Überlegungen:

- a) Der zu prüfende Bereich ist von der Saugglocke abgeschirmt. Das Prüfgerät muß daher entweder in die Saugglocke integriert werden, so daß es ebenfalls unter Druck steht, oder es muß über Fenster Zugang zur Prüffläche erhalten, wodurch die Strahlungsintensität gemindert wird.
- b) Durch den Unterdruck in der Saugglocke und der dadurch verursachten Wölbung der Oberfläche in die Saugglocke hinein kann nur eine Biegebelastung aufgebracht werden. Dies kann wie noch im Folgenden dargestellt wird, zu Ausfällen bei der Fehlererkennung führen.
- c) Durch die ringförmige Auflage der Saugglocke ist die Richtung der aufgebraute Belastung nicht homogen über die Prüffläche verteilt. Dieser Nachteil ist vor allem zur Sichtbarmachung und Überprüfung von Strukturen z. B. Verklebungen ein große Bedeutung.
- d) Die Saugglocke kann auf Oberflächen, die mehrfach oder relativ stark gegenüber dem Glockendurch-

messer gekrümmt sind, und die überstehende Segmente wie die Versteifungsrippen aufweisen, deren Abmaße größer als die der Saugglocke sind, nicht eingesetzt werden.

e) In Bereichen, an denen die Oberfläche gelocht oder Porös ist, kann die Saugglocke nicht oder nur unter Ausgleich des Leakagestroms eingesetzt werden. Meist ist jedoch gerade an unregelmäßigen Strukturen wegen der auftretenden Spannungsspitzen eine Prüfung gefragt.

f) Zur Überprüfung von Randstrukturen ist eine Saugglocke nicht mehr einsetzbar, wenn eine Überlappung mit dem Randbereich zu einem großen Leakagestrom aus der Glocke führt.

Das im folgenden vorliegende Verfahren und seine Varianten eliminieren diese Nachteile weitgehendst und bietet darüber hinaus noch weitergehende spezifische Vorteile.

Auf dem zu prüfenden Objekt sind vier Saugflächen paarweise angeordnet (Fig. 1). Die Saugflächen spannen den Prüfbereich auf, so daß sich dieser zwischen dem linken und rechten Saugflächenpaar befindet. Die Prüffläche ist so im Gegensatz zu Punkt a) frei zugänglich. Zwischen den paarweise angeordnete Saugflächen wirkt die Kraft  $F$ , die z. B. durch die Kolben  $K$  erzeugt wird. Entsprechend der Anpreßkraft  $F_n$  der vier Saugflächen  $S$  und dem entsprechenden Reibwert  $\mu$  zwischen Saugfläche und Prüfobjekt kann maximal die Reibkraft  $F_r = \mu F_n$  parallel zur Oberfläche des Prüfobjektes eingeleitet werden. Durch das Längenverhältnis der Abstände  $a$  und  $b$  kann das Verhältnis zwischen den über die Saugflächen senkrecht zur Oberfläche eingeleiteten Auflagekräfte  $F_s$  und parallel eingeleiteten Auflagekräfte  $F_p$  in Abhängigkeit der Kolbenkräfte  $F$  eingestellt werden. Die Kräfte  $F_p$  des jeweiligen Saugflächenpaares sind dabei gleichsinnig, die Kräfte  $F_s$  dagegen immer entgegengesetzt gerichtet. So wird es möglich, im Gegensatz zu Punkt b) verschiedene Belastungsarten, nämlich Zug, Druck und Biegung einzuleiten. Dabei wird jeweils Biegung mehr oder weniger von Zug oder Druck überlagert. Da die Saugflächen parallel zueinander angeordnet sind, wird die dazwischen liegende Prüfflächen gleichmäßig und nur in einer Richtung im Gegensatz zur ringförmigen Auflage der Saugglocke belastet (vgl. Punkt c)).

Ist der Abstand  $a$  gegenüber  $b$  relativ groß, so werden die Auflagekräfte  $F_s$  der Saugflächen  $S$  senkrecht zur Oberfläche relativ groß gegenüber den parallel zur Oberfläche wirkenden Kräften  $F_p$ , so daß im Prüfbereich eine nahezu reine Biegung erzeugt werden kann. Das erzeugte Biegemoment ist dann  $M_b = b F_s$ . Das Moment wölbt die Prüfoberfläche entsprechend der Richtung der Kraft  $F$  des Kolbens  $K$  nach außen bzw. nach innen und übt so entsprechend Zug- oder Druckspannungen an der Oberfläche aus.

Bei biegebelasteten Trägern oder Oberflächen nimmt die Spannung und damit die Dehnung mit dem Abstand zur Neutralen Faser zu. Die Spannungsverteilung ändert sich so über den Probenquerschnitt von positiven zu negativen Werten. Fehler, die nahe der Neutralen Faser liegen, haben aber so nur geringe Auswirkungen auf das Biegeverhalten (Fig. 2). Die zu registrierenden Änderungen an der Oberflächen zwischen den Belastungsänderungen fallen damit äußerst gering aus.

Von Vorteil wäre es daher, wenn die Biegung durch Zug oder Druckkräfte ersetzt oder überlagert werden könnte. Die "Neutrale Faser" liegt ab einem gewissem Verhältnis von Biegung und Zug bzw. Druck dann außerhalb des Prüfbereichs (Fig. 3). Der gesamte Querschnitt des Prüfbereichs steht unter Spannung. Die aus der Fehlstelle resultierende Einschnürung durch die Zugkräfte kann so mit hoher Aus-

fallsicherheit durch die out-of Plane Shearografie sichtbar gemacht werden.

Das Einleiten von Biegung und damit gleichzeitig der Wölbung der Oberfläche wird verringert, indem der Abstand  $a$  relativ klein gegenüber  $b$  wird. Idealerweise müßte dabei der Angriffspunkt der Kraft  $F$  direkt in der Kontaktebene von Saugfläche und Werkstoff liegen, da auch noch durch den Abstand  $c$  ein Restmoment erzeugt wird. Der Kolben  $K$  kann jedoch einleuchtender Weise nicht in der Prüfebene angeordnet werden, sondern muß außerhalb dieser liegen. Dies kann durch die Gelenkanordnung mittels der Hebel  $H1$  und  $H3$  in Fig. 4 gelöst werden. Wird die Verbindung wie exemplarisch für die linke Saugfläche  $S1$  gelenkig gestaltet, kann ein gewisser Restabstand  $a$  dabei nicht vermieden werden. Durch eine starre Verbindung wie an der rechten Saugfläche  $S2$  an den Hebel  $H2$  wird hingegen die Kraft  $F$  des Kolbens (entsprechend der Hebelverhältnisse) tangential zur Berührebene zwischen Saug- und Bauteiloberfläche in der Prüfoberfläche eingeleitet. Eine starre Anbindung ist auch für den Einsatz auf unebenen Flächen wie Fig. 5 zeigt möglich.

Liegen stark gekrümmte Oberflächen vor, wird es jedoch schwierig eine homogene Beanspruchung mit überwiegendem Zug oder Druck nach Fig. 3 zu erzeugen. Ist die Oberfläche in erster Linie zweidimensional gebogen (wie z. B. bei Tragflächen) besteht die Möglichkeit den Saugkörper der Kontur anzupassen, indem er beispielsweise aus einem Elastomer gefertigt ist. Damit dabei gewährleistet ist, daß durch den Saugkörper gleichmäßig die Zug- bzw. Druckkräfte  $F_p$  auf den Prüfkörper ausgeübt werden können, sollte sein Flächenträgheitsmoment um seine Achse senkrecht zur Prüfoberfläche groß sein. In der anderen Richtung hingegen sollte das Flächenträgheitsmoment des Saugkörpers zur leichten Anpassung an die Kontur klein gehalten werden. Eine mögliche Ausführung zeigt Fig. 6. Die Zug- bzw. Druckbelastung erfolgt hierbei in der nicht gekrümmten Achse. Soll jedoch die Belastung auch in der anderen Richtung d. h. in Richtung der gekrümmten Ebene erfolgen oder reicht die Anpassungsfähigkeit der Saugkörper nicht aus, stellt die Anwendung von überlagerten Biegebelastungen eine Lösung dar trotz einer gekrümmten Kontur vorzugsweise Zug oder Druckbeanspruchungen auf dem Prüfobjekt zu erzeugen.

Betrachtet man den freigeschnittenen Querschnitt einer nahezu kreisförmig gekrümmten Oberfläche (Fig. 7), in der die Kraft  $F$  durch das Belastungsverfahren eingeleitet wird, so erkennt man, daß die Krafttrichtung unter der Bedingung des Kräftegleichgewichts bei einem geschlossenem Kräftesystem nicht mehr rein tangential erfolgen kann. Aber auch wenn dies durch weitere Abstützungen am Bauteil selbst oder der Umgebung möglich wird, ergäbe sich aufgrund der Oberflächenkrümmung eine ortsabhängige Biegebelastung. Es überlagern sich die Spannungen resultierend aus der örtlichen Biegung  $M_b(x,F)$  und der Zug- bzw. Druckspannungen aus den örtlichen Normalkräften  $N(x,F)$  entlang des Kreissegmentes.

Am Scheitelpunkt  $x=s$  mit der Höhe  $h$  des Kreissegmentes treten die größten Normalkräfte  $N=F$ , sowie die größten Biegemomente  $M_b(s,F) = h F$  auf. Die Biegespannung  $\sigma_b$  ergibt sich bei einem Flächenträgheitsmoment  $I = 8 z^3 B/12$  mit  $2z$  als Plattendicke und  $B$  als Plattenbreite zu  $\sigma_b = M_b(s,F) z/I$ . Die auftretenden Zugspannung beträgt dabei  $\sigma_{zug} = F/(2 z B)$  unter der Annahme einer mittig liegenden neutralen Faser. Es ergibt sich so ein Verhältnis  $\sigma_b/\sigma_{zug} = 3h/z$ . Bei in Relation zur Plattendicke starken Krümmungen treten daher wieder unbeanspruchte Schichten und Bereiche auf, was wie oben dargelegt zu Fehldiagnosen bei der Fehlererkennung führen kann.

Diesem Problem kann entgegengewirkt werden, wenn die

Belastungseinrichtung zusätzlich das Moment  $M_b$  erzeugt, welches dem aus der Kraft  $F$  resultierendem Biegemoment  $M_b(x,F)$  entgegenwirkt. Zu beachten ist dabei, daß das Zusatzmoment  $M_b$  nicht an jeder Stelle  $x$  den gleichen Betrag wie das Biegemoment  $M_b(x,F)$  erzeugt, so daß eine vollständige Kompensation nicht möglich ist. Darüber hinaus muß das Moment dem Verhältnis von  $h$  und  $z$ , also der Krümmung und der Dicke der Prüfoberfläche, angepaßt sein. Eine mögliche Ausführung einer solchen Belastungseinrichtung zeigt Fig. 8. Die Kolben  $K1$  erzeugen dabei die Zug- bzw. Druckkomponente, die Kolben  $K2$  die Biegekomponente.

Die Vorrichtung kann auch zur Befestigung des Detektiergerätes an den Prüfkörper verwendet werden, wodurch sich eine starre Verbindung zwischen Prüfobjekt und Detektierereinrichtung ergibt, die die Unempfindlichkeit gegenüber Umgebungsstörungen erhöht. Ein mögliches Ausführungsbeispiel zeigt Fig. 9. Das Beispiel zeigt hier wiederum eine alternative Anordnung der Belastung bzw. der Saugflächen, die bewirkt, daß die Relativbewegungen des Sensors zum restlichen, unbelasteten Bereich des Prüfobjekt gering gehalten wird. Der Sensor ist dazu mit den Versteifungen  $V$  verbunden, welche wiederum an den äußeren Saugflächen befestigt sind. Der Sensor ist somit fest mit der Objektoberfläche an einer Stelle verbunden, an der keine bzw. nur eine geringe Verformung des Objektes auftritt. Die Verformung tritt in erster Linie zwischen den beiden äußeren Saugflächen auf. Sie wird durch Verschiebung der beiden inneren Saugflächen bewirkt. Durch eine Verschiebung der inneren Saugflächen senkrecht zur Objektoberfläche durch die Kolben werden Biegemomente eingeleitet, die gleich- oder gegensinnig gerichtet sein können. Werden die inneren Saugflächen parallel zur Oberfläche aber entgegengesetzt verschoben, werden Zug- oder Druckkräfte in den Prüfbereich eingeleitet.

In Abhängigkeit von der Steifigkeit der Versteifung  $V$  und des Materials, welches das Prüffeld umgibt, beschränken sich die aus den Belastungen resultierenden Verformungen auf die Bereiche  $a$ ,  $b$  und  $c$ . Dies muß bei der Wahl der relativen Abmessungen von  $a$ ,  $b$ , und  $c$  zueinander beachtet werden. Wird auf die Einleitung von Biegung verzichtet, kann die Versteifung entfallen und die Belastungsvorrichtung in zwei unabhängige Teile gegliedert werden. Der Abstand  $b$  zwischen beiden Teilen, welcher die Prüffläche aufspannt, kann damit theoretisch beliebig groß gewählt werden, solange ein ausreichender Kraftfluß zwischen beiden Teilen außerhalb des Prüfbereichs gewährleistet ist. Dies ist jedoch sehr vom untersuchten Bauteil abhängig und zumeist dann der Fall, wenn der Prüfbereich gegenüber dem Objekt relativ klein ist.

Die Vorrichtungen mit integriertem Meßkopf können prinzipiell auch in Kombination mit einer externen Last z. B. Innendruck oder -vakuum, Wärme etc. oder Schwingungsanregung kombiniert werden und dabei nur als Befestigung des Meßkopfes selbst dienen. Zudem muß die Belastungsvorrichtung wie in diesem Beispielen gezeigt kein geschlossenes Kraftsystem zusammen mit dem Prüfobjekt bilden. Eine Abstützung an die Umgebung ist möglich, aber für einen vielseitigen und variablen Einsatz der Vorrichtung hinderlich.

Soll das Bauteil prinzipiell nur nach Lufteinschlüssen Fig. 10a untersucht werden, kann auch die Saugglocke nach Patent US 005257088 eingesetzt werden. Wird ein Unterdruck ( $P_1 < P_u$ ) in der Saugglocke erzeugt, beult sich die Oberfläche oberhalb des Lufteinschlusses entsprechend des Differenzdruckes nach außen (Fig. 10b). Offene Fehlstellen wie Risse an der Ober- und Unterseite werden durch diese Belastung erst bei stärkeren Unterdrücken durch die erzeugte Biegung des Prüfbereiches (Fig. 2) sichtbar. Dabei

wölbt sich der Prüfbereich in die Saugglocke hinein, so daß Risse auf der Innenseite überwiegend durch Druck belastet werden und so durch dieses Belastungsverfahren schlecht zu detektieren sind. Eine Wölbung in die entgegengesetzte Richtung ist im Patent US 00527088 nicht vorgesehen. Hierfür müßte ein Überdruck in der Glocke vorgesehen werden, der jedoch nur dann aufgebracht werden kann, wenn die Glocke durch eine zusätzliche Kraft an die Prüfoberfläche angedrückt wird. Diese können sich ebenfalls z. B. durch Saugfüße am Bauteil selbst abstützen.

Liegen Fehler wie Risse (Fig. 10d) im Randbereich des Querschnittes vor, kann ggf. durch Biegung schon bei geringerem Kraftaufwand als bei Zugbelastung eine Inhomogenität sichtbar werden. Entscheidend ist jedoch auch die Ausdehnung des hohen aber schmalen Fehlers bzw. Risses in der Prüfebene unabhängig von seiner Lage innerhalb des Bauteilquerschnittes. Herrscht am Ort des Risses ein einachsiger Spannungszustand und liegt dabei die Ausdehnung des Risses überwiegend in Richtung anliegenden Belastung, kann der Riß unerkant bleiben. Um ein solches Versagen des Systems auszuschließen, müßte daher die Belastungsanordnung um einen Winkel z. B.  $90^\circ$  gedreht werden und eine weitere Messung durchgeführt werden. Bei der Belastung der Saugglocke liegt dagegen ein mindestens zweiachsiger Spannungszustand vor. Wird dazu der Verformungsgradient nicht nur in einer sondern in einer zweiten Richtung z. B. unter  $90^\circ$  gemessen, kann die Messung unter einem Belastungsvorgang durchgeführt werden.

Um letztere Ausfallursache für das Prinzip auch ohne Drehen des hier vorgestellten Belastungsaufbaus auszuschließen und dabei die Vorteil gegenüber der Saugglocke zu bewahren, muß ein möglichst mehrachsiger Spannungszustand erzeugt werden. Gegebenenfalls müssen hierbei Nachteile bei der Sichtbarmachung von Materialstrukturen in Kauf genommen werden, wenn dies zu inhomogenen Spannungsverteilungen führt. Eine prinzipielle Realisierungsmöglichkeit zeigt Fig. 12. Dabei wurde das Prinzip von Fig. 9 übernommen. Es werden jedoch jeweils acht Saugflächen an jeweils zwei Verbindungsarme V angeordnet, die den dazwischen liegenden Prüfbereich aufspannen. Die Verbindungsarme sind über ein Drehgelenk verbunden, so daß der Winkel  $\alpha$  zwischen den beiden Verbindungsarmen ggf. geändert werden kann. In diesem Beispiel wurden Saugflächen mit einer kreisförmigen Auflagefläche verwendet.

Prinzipiell sind anstelle von vier Saugflächen pro Arm nur drei Saugflächen und damit nur noch zwei anstelle vier Kolben notwendig, wie aus Fig. 13 ersichtlich wird. Diese Vereinfachung führt jedoch zu einer Asymmetrie im Kraftfluß nicht nur innerhalb des Prüfbereichs, in dem nur ein von der mittleren zu den äußeren Saugflächen hin abfallendes Biegemoment erzeugt werden kann, sondern auch außerhalb des Prüfbereiches.

Werden die zu untersuchende Flächen bei großen Bauteilen wesentlich größer als der Prüfbereich des Meßverfahrens bei einer Messung, wird die systematische Gliederung des Bauteils in Segmente nötig, die kleiner oder gleich groß sind wie der Prüfbereich des Meßverfahrens. Dies erfordert die genaue Dokumentation der Prüfung in Abhängigkeit des Prüfsegmentes. Diese kann nur durch eine präzise Versetzung der Belastungseinrichtung zusammen mit dem Meßsensor erreicht werden. Dieser Vorgang kann von Hand geschehen, er kann jedoch auch durch verschieden Verfahren automatisiert werden. Es bietet sich beispielsweise dafür an, die Saugflächen gleichzeitig als Füße für einen Schreitroboter auszulegen, der nach jeder Messung um die vorgegebenen Abstand verfahren wird. Eine weitere Lösung ist eine externe Verfahrenseinheit, die Belastungseinrichtung und Meß-

sensor um den entsprechenden Betrag versetzen kann.

Zusammenfassend ergeben sich die folgenden Vorteile des vorliegend Belastungsprinzips zur Materialprüfung in Kombination mit einem optischen Meßverfahren:

- a) Der Prüfbereich ist frei zugänglich. Dies ermöglicht eine unabhängige Installation des Prüfgerätes ohne Intensitätsverluste.
- b) Die Belastungsart kann beliebig zwischen Biegung, Zug- und Druckbelastung variiert werden, wodurch die Möglichkeit für Ausfälle bei der Fehlererkennung gegenüber der Saugglocke weiter reduziert wird.
- c) Durch die parallel liegenden Saugflächen kann die Richtung der aufgebrachte Belastung weitestgehend homogen über die Prüffläche verteilt werden, wodurch eine gezielte Überprüfung und Sichtbarmachung von Bauteil und Materialstrukturen möglich wird.
- d) Die Belastungsvorrichtung kann auch auf Oberflächen, die mehrfach oder relativ stark gekrümmt sind oder die überstehende Segmente wie die Versteifungsrippen aufweisen, eingesetzt werden, die meist gerade wegen der dort auftretenden Spannungsspitzen für eine Überprüfung interessant sind.
- e) Der Prüfbereich muß im Gegensatz zur Saugglocke nicht evakuiert werden. Somit kann auch in Bereichen gemessen werden die teilweise gelocht oder in gewissem Maße porös sind. Nur die Ansaugkraft muß ausreichen um die eingeleiteten Prüfkraft zu übertragen.
- f) Auch zur Überprüfung von Randstrukturen ist das Belastungsverfahren einsetzbar.

#### Patentansprüche

1. Belastungsvorrichtung zur Materialprüfung **dadurch gekennzeichnet**, daß über ein aufgespanntes, offenes, frei zugängliches Prüffeld an der Oberfläche eines Bauteils eine sowohl über das Prüffeld als auch über die Oberflächenquerschnitte möglichst homogene und/oder der Anwendung bzw. dem Bauteil entsprechend angepaßte Belastungen aufgebracht wird, welche aus Zug, Druck, Biegung und Torsion oder einer Kombination dieser Beanspruchungs- bzw. Beanspruchungsarten besteht, die jeweils in Betrag und Richtung, dynamisch und statisch einstellbar sind, und welche über Flächen auf das Bauteil übertragen werden, die durch möglichst lösbare Verbindungen u. a. mittels thermisch schmelzbare Kleber oder Wachse und/oder Verbindungen mittels Andruckkräfte, die u. a. durch Magnete, Klemmen oder Unterdruck mittels Saugflächen erzeugt werden können, mit dem Prüfobjekt verbunden sind, wodurch nicht nur senkrecht zur Objekt-oberfläche sondern in beliebiger Richtung Kräfte und Momente eingeleitet werden können, so daß Fehlstellen, Bauteil- und Materialstrukturen anhand der von ihnen erzeugten Inhomogenitäten gegenüber der Grundverformungen und/oder den entsprechenden Verformungsgradienten durch ein Meßverfahren wie die Shearografie (ESPST) sichtbar gemacht und/oder detektiert werden können.
2. Belastungsvorrichtung zur Materialprüfung nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß die durch die Vorrichtung aufgebrachte Belastung ein mit dem Prüfobjekt geschlossenes Kräftesystem bildet und so unabhängig von den Umgebungsstrukturen einsetzbar ist und/oder daß es sich teilweise zusätzlich oder vollständig an der Umgebung abstützt.
3. Belastungsvorrichtung zur Materialprüfung nach



obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß die aufgetragenen Beanspruchungen dynamisch und/oder statisch erfolgen kann und entsprechend die Amplituden und Frequenzen der Beanspruchungen regel- und dosierbar sind.

4. Belastungsvorrichtung zur Materialprüfung nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung an einer Schiene und/oder Halterung oder am Objekt selbst geführt und/oder gesichert werden kann, wobei diese Führungen zum definierten Positionieren und Verschieben der Vorrichtung dienen können.

5. Belastungsvorrichtung zur Materialprüfung nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß die Belastungsvorrichtung auch als Halterung des Meßsystems oder des Meßkopfes am Prüfobjekt in Kombination mit weiteren externen Einrichtungen zur statischen oder dynamischen Verformung z. B. durch Wärme, Innendruck etc. oder einer Schwingungsanregungen eingesetzt werden kann.

6. Belastungsvorrichtung zur Materialprüfung nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß es mit dem Meßsystem oder nur mit dem Meßkopf (oder mehreren) eine Einheit bilden kann oder so integriert wird, daß damit eine feste Verbindung zum Prüfobjekt bzw. zum Prüffeld besteht oder daß das Meßsystem extern befestigt werden kann.

7. Belastungsvorrichtung zur Materialprüfung nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß die Belastungsvorrichtung einschließlich des entsprechenden Meßkopfes und/oder des Meßsystems in Abhängigkeit des Prüfsegmentes durch einen automatisierten oder von Hand gesteuerte Vorrichtung und/oder Anlage präzise versetzt oder verschoben werden kann.

8. Belastungsvorrichtung zur Materialprüfung nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß die automatisierte Versetzung oder Verschiebung durch einen mit dem Prüfobjekt verbundene Vorrichtung erfolgen kann, das u. a. in der Form eines Raupenfahrzeuges, welches durch Andruckkräfte, die u. a. durch Magnete oder Unterdruck mittels Saugflächen erzeugt werden können, oder in Form eines Schreitroboters mit dem Prüfobjekt verbunden ist, bei dem die Füße so ausgebildet sind, daß diese sowohl zum Versetzen des Gesamtaufbaus gegenüber des zu prüfenden Bauteiles dienen als auch zum Aufbringen der Belastung nach den obigen Ansprüchen verwendet werden können.

9. Belastungsvorrichtung zur Materialprüfung vorzugsweise nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß für die Anwendung von Zug, Druck und Biegebelastungen oder einer Kombination dieser Beanspruchungsarten als Prüfbelastung, die jeweils in Betrag und Richtung dynamisch und statisch einstellbar ist, nach Fig. 8, Fig. 9, Fig. 12 und Fig. 13 an mindestens drei, vorteilhafter Weise jedoch an vier Flächen oder Bereichen der Flächen pro Achse des Spannungszustandes bzw. der Belastungsebene auf das Bauteil übertragen werden, die durch möglichst lösbare Verbindungen u. a. mittels thermisch schmelzbare Kleber oder Wachse und/oder Verbindungen mittels Andruckkräfte, die u. a. durch Magnete, Klemmen oder Unterdruck mittels Saugflächen erzeugt werden können.

10. Belastungsvorrichtung zur Materialprüfung vorzugsweise nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß für die Anwendung von Zug oder Druck als Prüfbelastung, die jeweils in Betrag und Richtung dynamisch und statisch einstellbar ist, nach Fig. 4, Fig. 5 und Fig. 6 nur an mindestens zwei Flächen pro Achse

des Spannungszustandes bzw. der Belastungsebene auf das Bauteil übertragen werden, die durch möglichst lösbare Verbindungen u. a. mittels thermisch schmelzbare Kleber oder Wachse und/oder Verbindungen mittels Andruckkräfte, die u. a. durch Magnete; Klemmen oder Unterdruck mittels Saugflächen erzeugt werden können.

11. Belastungsvorrichtung zur Materialprüfung vorzugsweise nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß für die Erzeugung eines mehrachsigen Spannungszustandes die zwei vorhergehenden Ansprüche auf die weiteren Beanspruchungsebenen ebenfalls übertragbar sind und/oder diese Ansprüche ggf. für die einzelnen Beanspruchungsebenen miteinander kombiniert werden können.

12. Belastungsvorrichtung zur Materialprüfung vorzugsweise nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß für die Befestigung der Meß- oder Prüfgerätes an der Belastungsvorrichtung weitere Flächen vorgesehen werden können, die durch möglichst lösbare Verbindungen u. a. mittels thermisch schmelzbare Kleber oder Wachse und/oder Verbindungen mittels Andruckkräfte, die u. a. durch Magnete oder Unterdruck mittels Saugflächen erzeugt werden können, und die zur Vermeidung oder Minderung der Relativbewegungen durch Verformungen der Belastungsvorrichtung oder des Prüfobjektes, durch Schwingungen, Wärme u. a. während der Belastung (z. B. bei dynamischer Beanspruchung) und/oder vor und nach den einzelnen Belastungszuständen dienen.

13. Belastungsvorrichtung zur Materialprüfung nach obigen Ansprüchen dadurch gekennzeichnet, daß ein oder mehrere Meßköpfe auch durch eine von der Belastungsvorrichtung unabhängige, möglichst lösbare Verbindungen (u. a. mittels thermisch schmelzbare Kleber oder Wachse oder Verbindungen wie Magnete, Klemmen oder Unterdruck mittels Saugflächen) mit dem Prüfobjekt entweder außerhalb oder innerhalb der Prüffläche so verbunden sind, daß möglichst Relativbewegungen und Ganzkörperverschiebungen zwischen der durch die Belastungsvorrichtung beanspruchte Prüfflächen und dem Meßkopf kompensiert werden können.

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

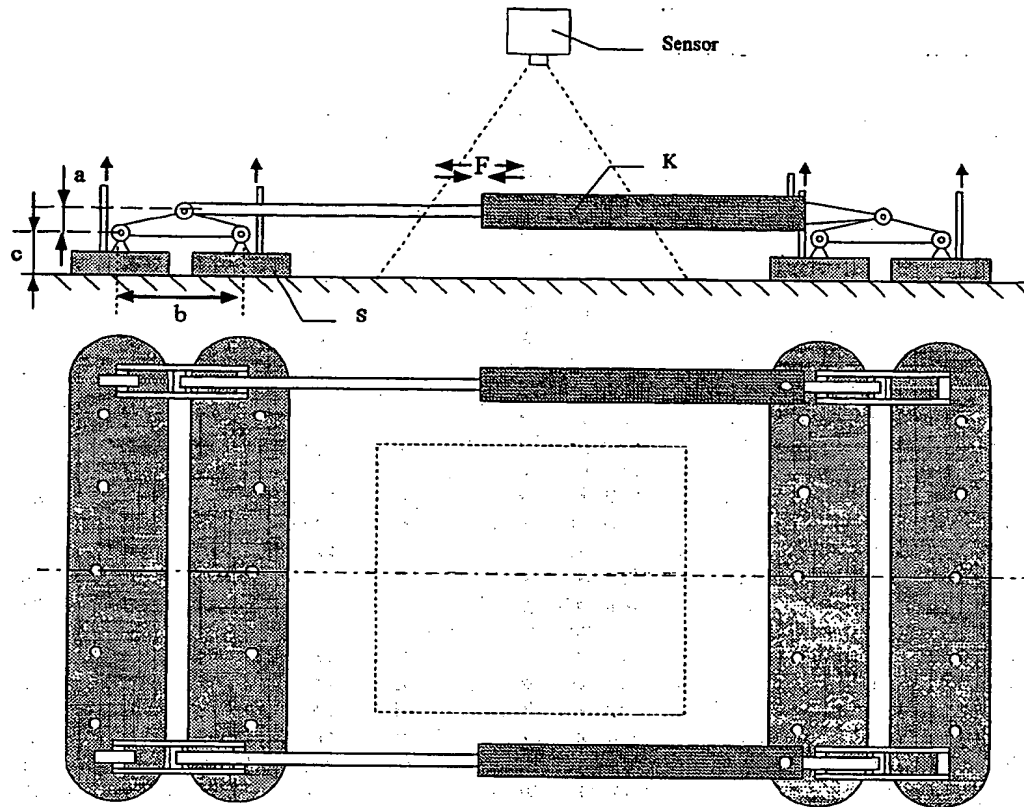


Fig. 1

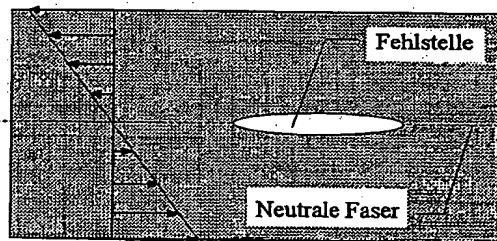


Fig. 2

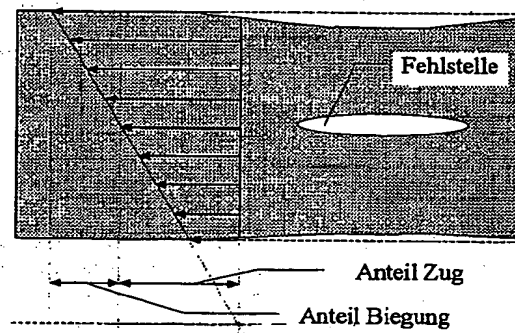


Fig. 3

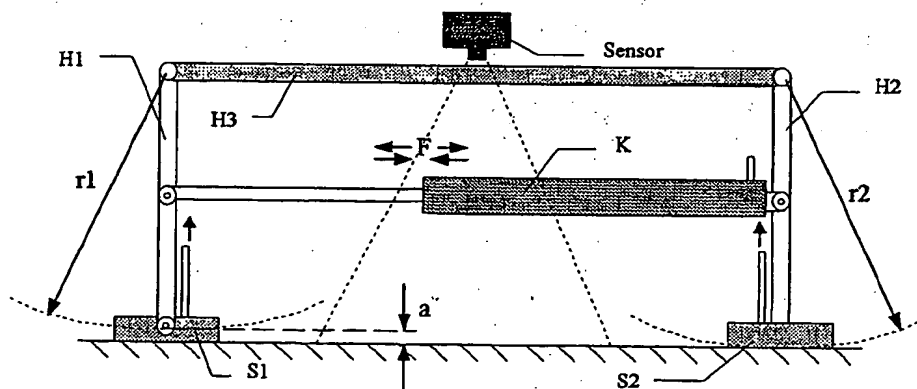


Fig. 4

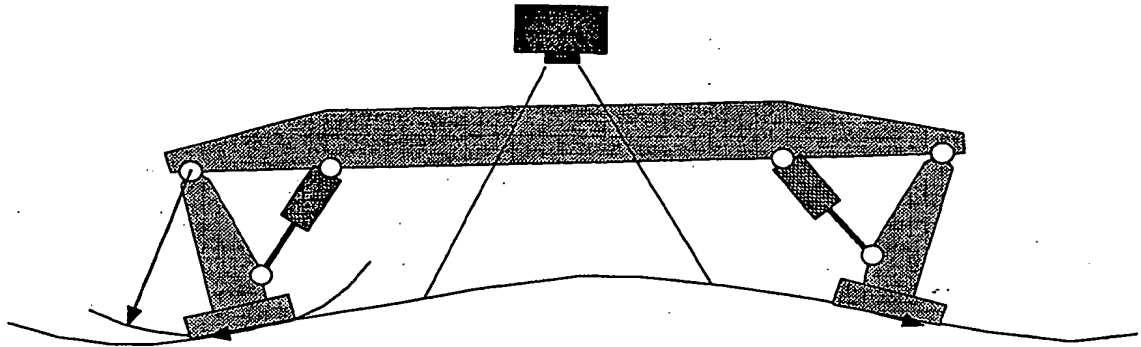


Fig. 5

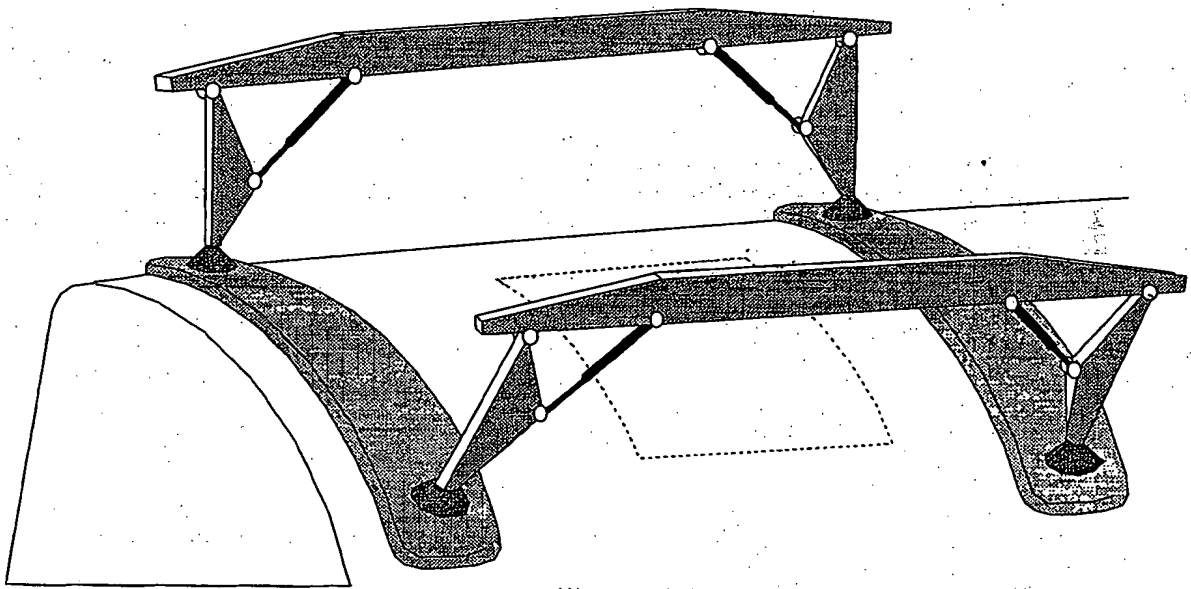


Fig. 6

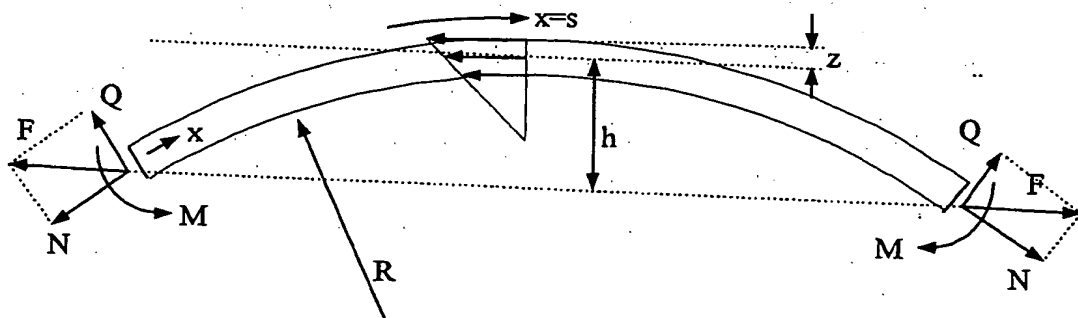
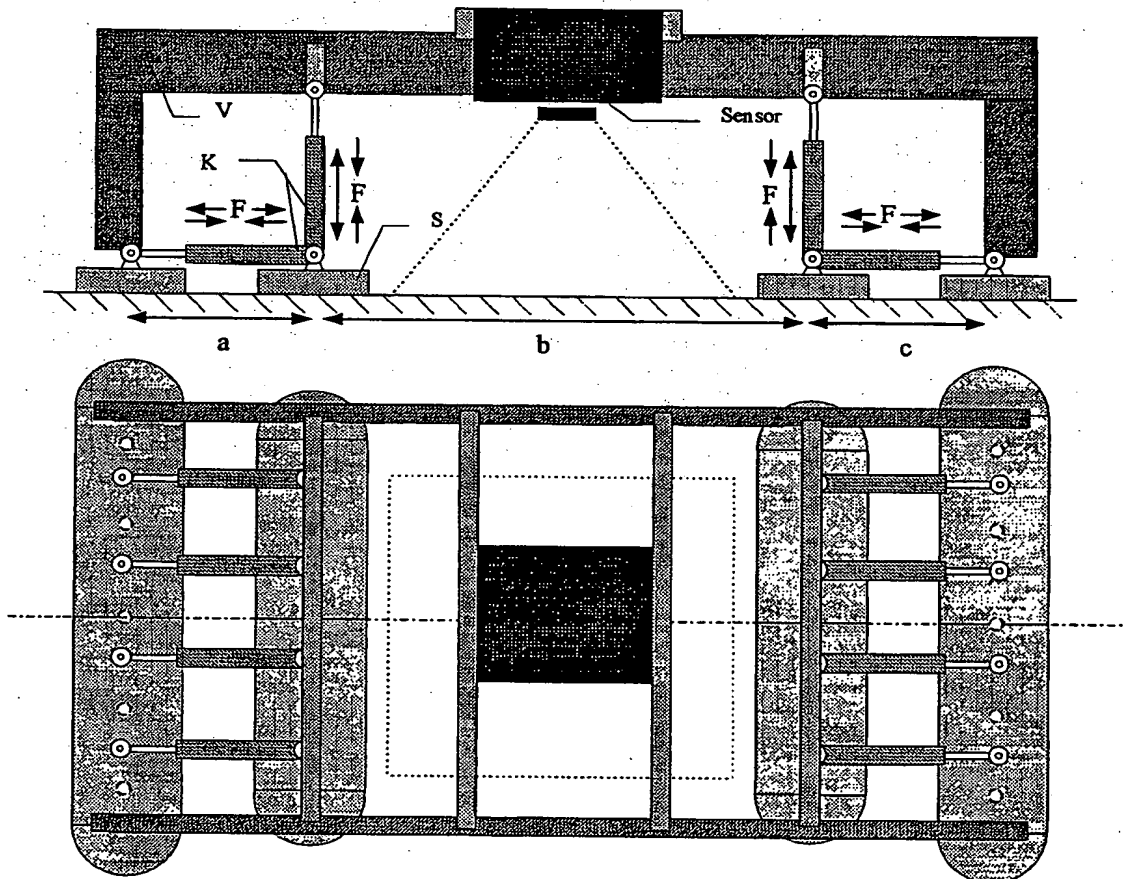
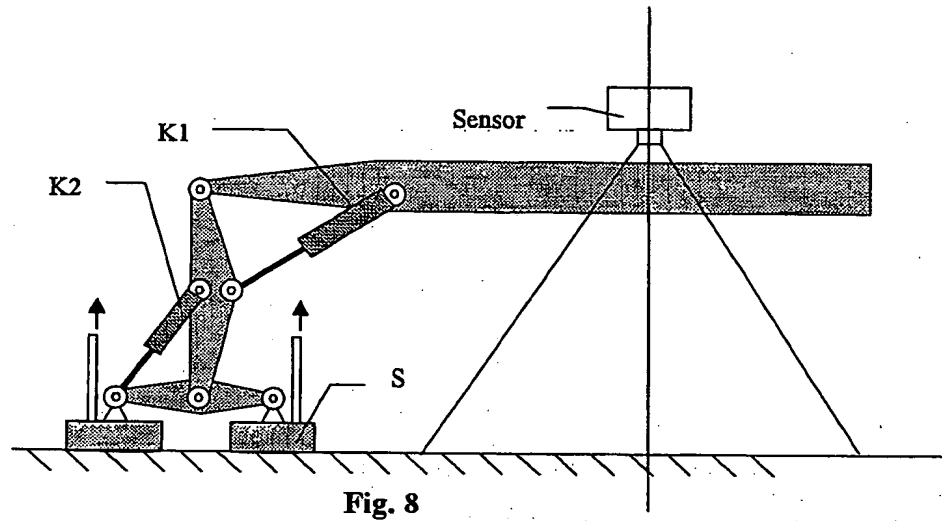


Fig. 7



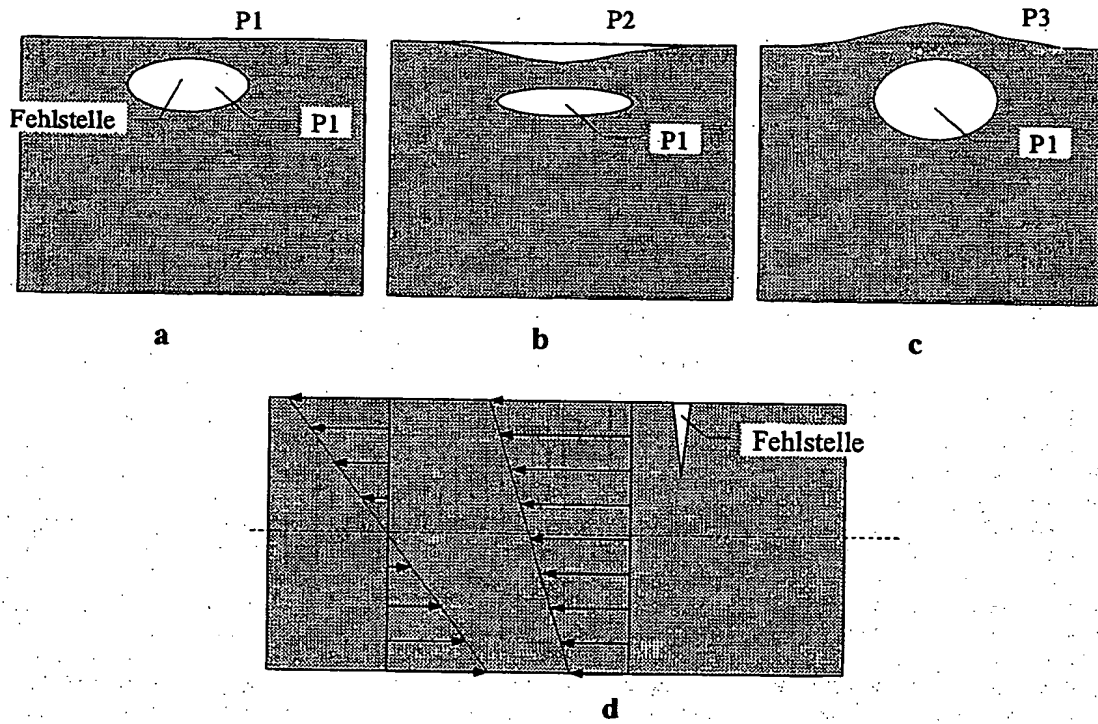


Fig. 10

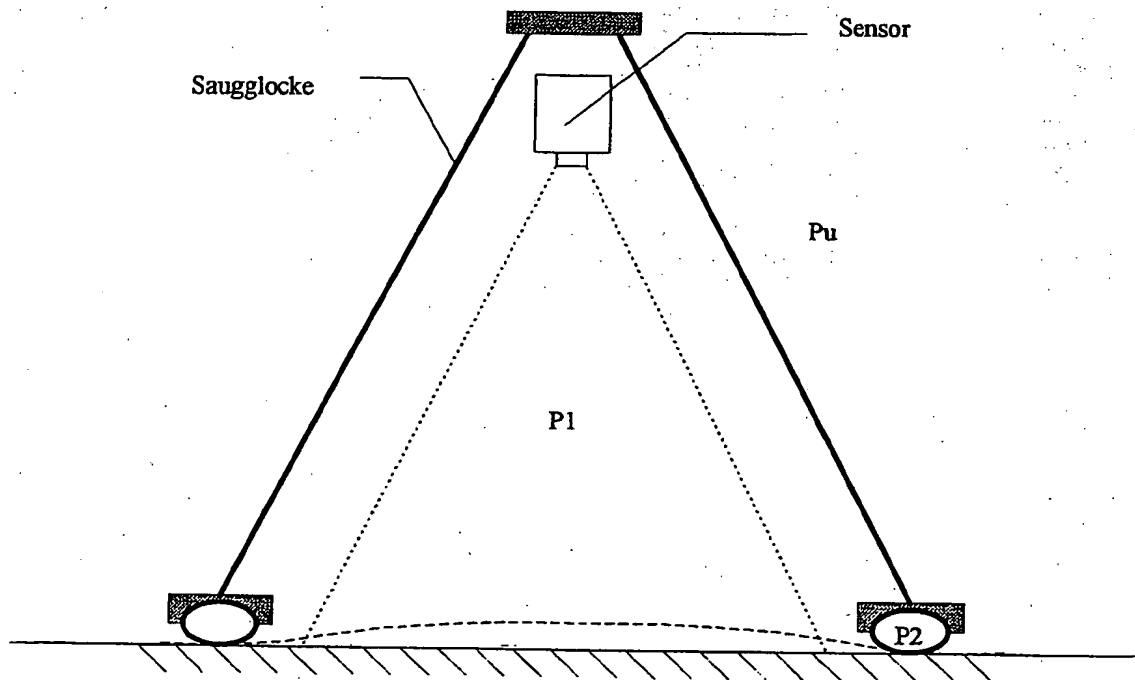


Fig. 11

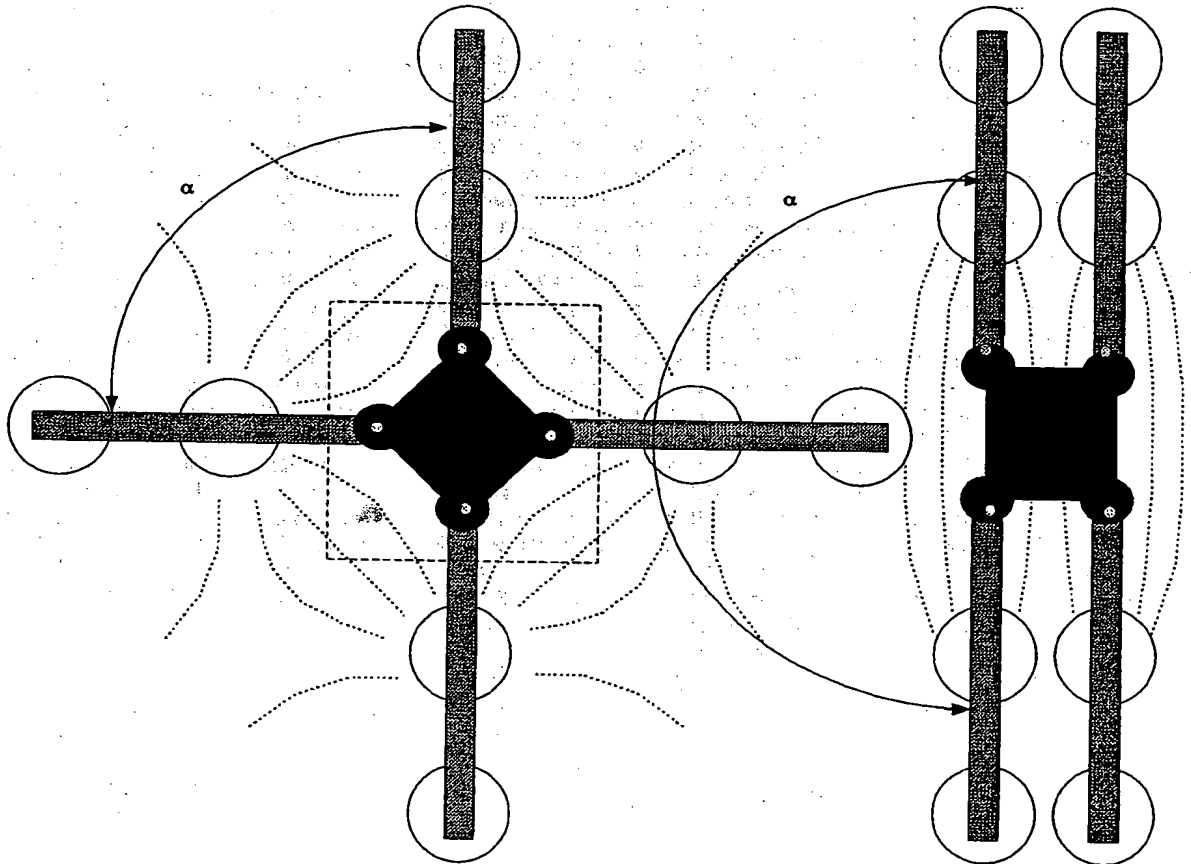
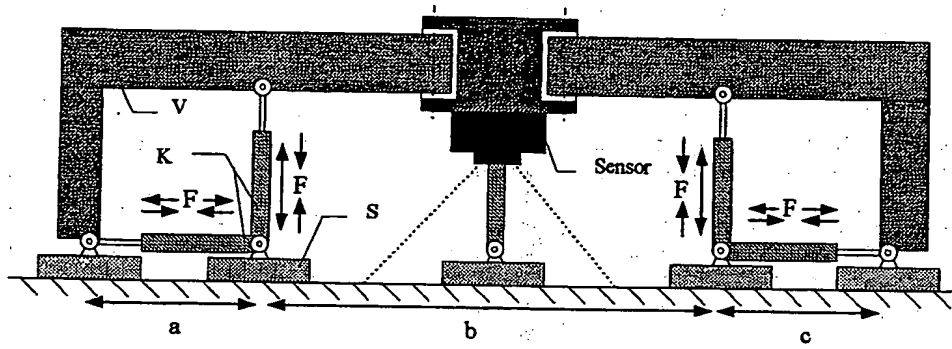


Fig. 11a

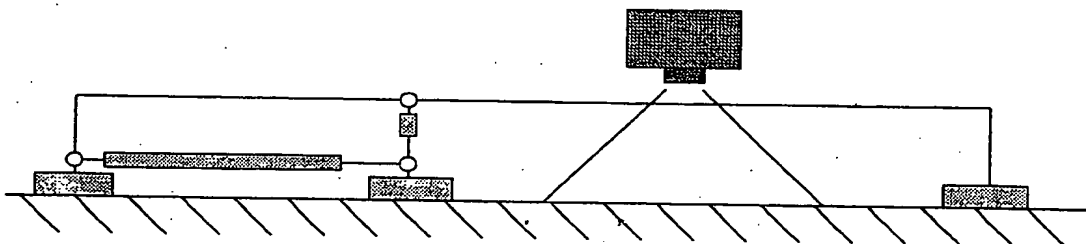


Fig. 12